本章目录

课程、平台与例程的学习路线

第一章　绪论
1.1　概念分类与应用
1.2　发展历程与趋势
1.3　组成与架构
1.4　坐标系与控制原理
1.5　装配与调试
1.6　RflySim工具链
1.7　学习路线与实验案例
1.8　习题与课堂讨论

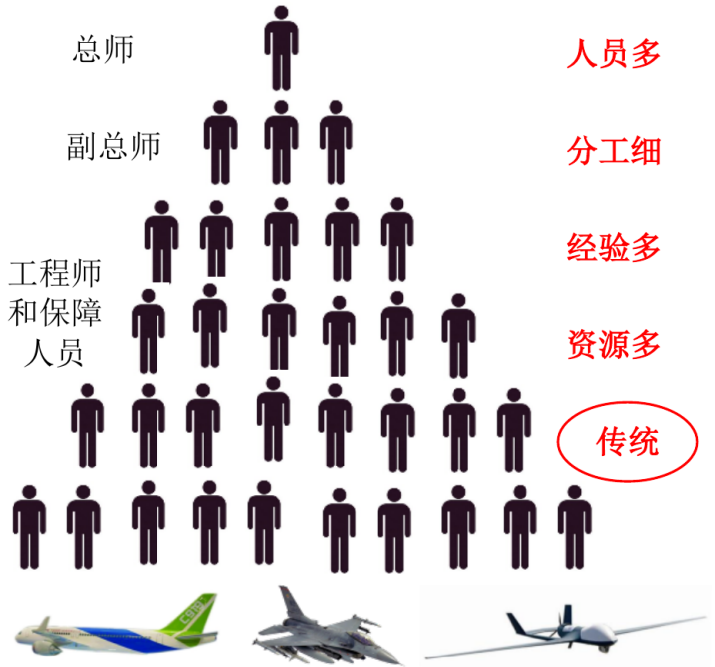
本节 5 个教学单元

1.7.1 目的和结构
1.7.2 统一入口与配套资源
1.7.3 实验方法与例程复现
1.7.4 二次开发与智能辅助
1.7.5 科研拓展与个性路线

1.7 学习路线与实验案例

1.7.1 目的和结构：写作目的·人才培养

开发组织变化带来系统能力需求



(a)大型航空航天器设计



(b)微小型飞行器开发

图1.22 航空产业工程师需求趋势对比图

- **团队条件：**大型项目分工细，微小型项目常需一人兼多职。
- **人才缺口：**缺少统筹选型、算法与试验的首席技术官（CTO）或全栈工程师。
- **培养目标：**串联课程知识，再向控制、感知或协同深入。

小团队开发需要跨模块统筹，课程以系统基础支撑专业深入。

1.7.1 目的和结构：写作目的·能力目标

系统视野与专业能力共同支撑开发

系统视野

载具 · 感知 · 控制 · 任务

专业深入

系统知识横向连接，专业方向纵向深入

- **看懂系统：**说明观测、算法、执行与反馈的关系。
- **复现实验：**找到入口、运行条件和预期现象。
- **开展开发：**解释一次改动如何影响运行结果。

理解系统全貌，再通过一条专业路线形成可迁移的开发能力。

1.7.1 目的和结构：写作目的·配套资源

教材、平台与例程各有学习职责

教材与课件
建立概念与方法
理解模型和条件

➡

统一入口
索引工具与资源
组织运行环境

➡

配套例程
连接源码与现象
支持复现和修改

学习中的问题	优先使用的资源
为什么这样做?	教材、课件和相关章节
在哪里开始?	统一入口、章节索引和例程说明
算法怎样实现?	例程源码与接口文档

教材解释原理，平台提供环境，例程连接知识与可运行实现。

1.7 学习路线与实验案例

1.7.1 目的和结构：篇章结构

四篇十章怎样组织系统开发知识

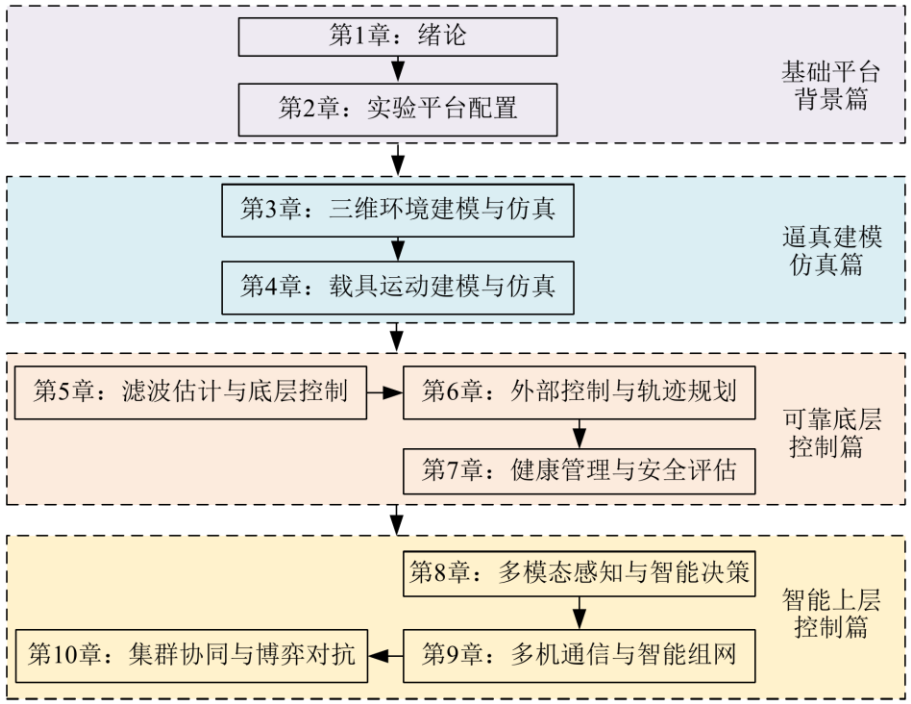


图1.23 全书章节结构图

- **平台与模型：**第1～4章建立系统认识、运行环境与仿真对象。
- **单体能力：**第5～7章形成估计、控制、规划与安全评估能力。
- **复杂任务：**第8～10章连接感知决策、通信组网与集群协同。

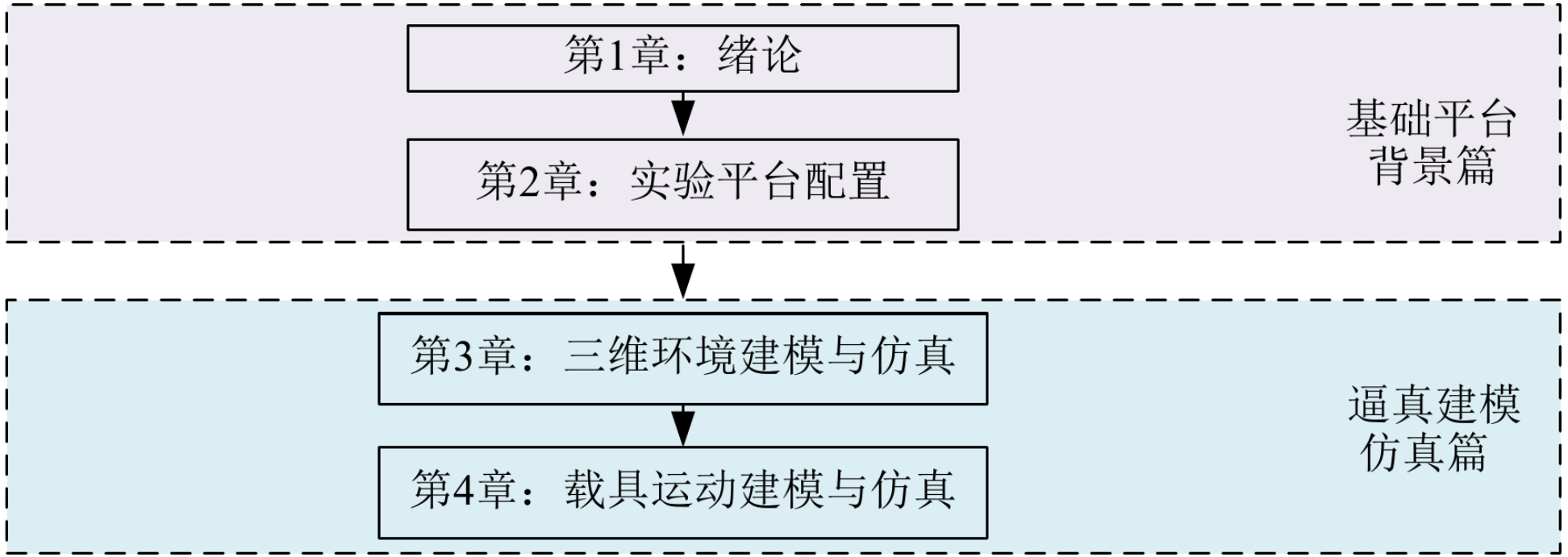
平台与模型支撑单体能力，单体能力进一步支撑感知决策与集群任务。

1.7 学习路线与实验案例

1.7.1 目的和结构：章节分布·平台与模型基础

第1～4章：建立实验环境与仿真对象

图1.23（上部）基础平台背景篇与逼真建模仿真篇



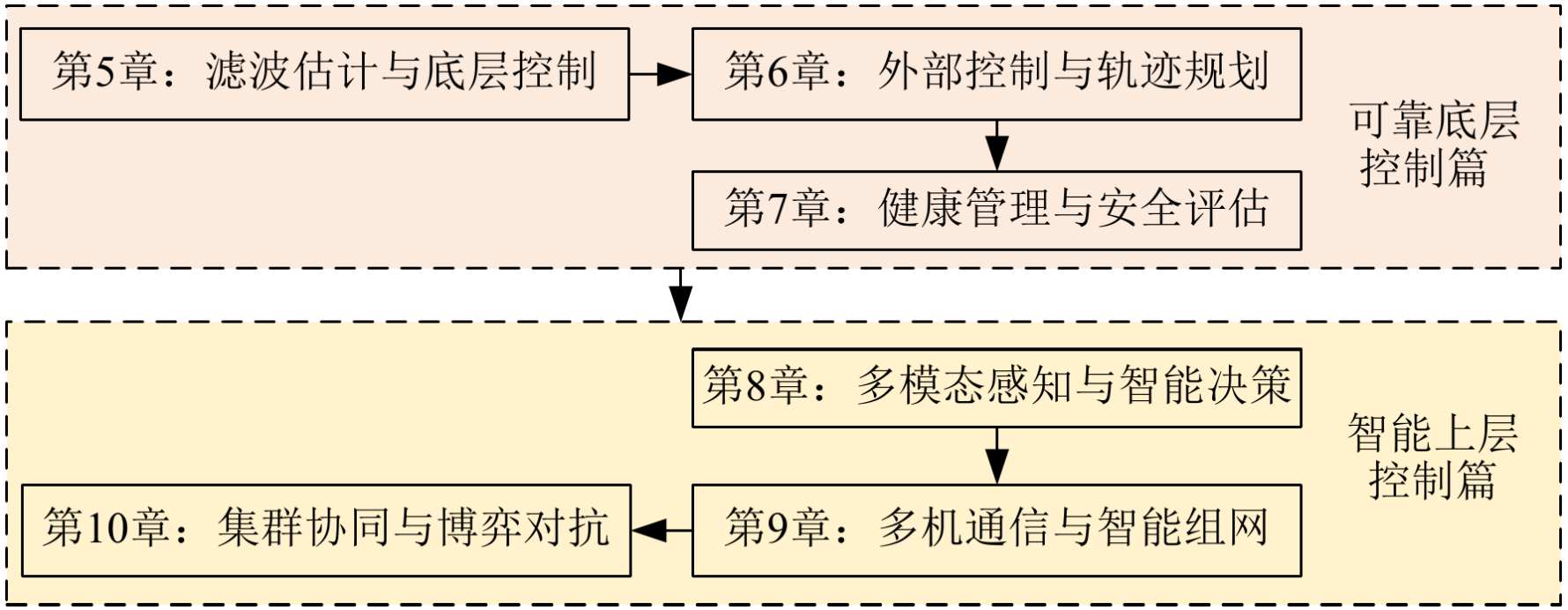
环境模型生成观测，运动模型产生响应，共同构成算法开发与验证的基础。

1.7 学习路线与实验案例

1.7.1 目的和结构：章节分布·可靠控制与智能上层

第5～10章：连接可靠执行与智能任务

图1.23（下部）可靠底层控制篇与智能上层控制篇



单机控制负责执行运动，感知与通信让任务决策扩展到多机协同。

1.7.1 目的和结构：方向选择

三条学习路线共享基础，侧重不同

共同基础：第1、2章的系统认识与实验环境

学习方向	主要章节组合	首个可检查成果
建模与控制	4、5、6章，结合第7章评估	解释一次参数修改对运动的影响
感知与决策	3、8章，结合第6章运动控制	连接图像输入、检测与运动指令
通信与协同	9、10章，补足所需单机基础	解释多机状态、通信与协同关系

共同基础支撑不同专业方向，章节组合由希望解决的任务决定。

1.7.1 目的和结构：学习起点

用首个任务确定当前要补的知识

- **共同起点：**理解系统组成、坐标与信号关系，建立能够运行基础仿真的环境。
- **红球跟踪：**飞行器用机载相机寻找并飞近红球；先复用已有场景与机型，再补Python、图像坐标和速度指令。
- **按需深入：**看不懂图像处理补第8章，解释不了运动补第4～6章，扩展多机再补第9、10章。
- **章节分工：**本节讲如何选择和学习例程；具体安装、启动和接口操作在第2章展开。

先具备当前任务所需的基础，再用实验结果决定下一步补学内容。

本章目录

课程、平台与例程的学习路线

第一章　绪论
1.1　概念分类与应用
1.2　发展历程与趋势
1.3　组成与架构
1.4　坐标系与控制原理
1.5　装配与调试
1.6　RflySim工具链
1.7　学习路线与实验案例
1.8　习题与课堂讨论

本节 5 个教学单元

1.7.1 目的和结构
1.7.2 统一入口与配套资源
1.7.3 实验方法与例程复现
1.7.4 二次开发与智能辅助
1.7.5 科研拓展与个性路线

1.7.2 统一入口与配套资源：入口总览

统一入口串联六类学习资源



双击桌面RflySim图标进入

首页	搜索与快速启动
工具导航	打开开发环境
例程广场	按章节选实验
二次开发	查接口开发手册
智能助手	问知识与方案
论文科研	找论文与源码

根据当前学习问题选择入口，课程、工具、例程和科研资料相互连接。

1.7.2 统一入口与配套资源：例程广场

例程广场把课程章节映射到实验



- **学习地图：**四个模块对应全书四篇，每张卡片对应一章。
- **难度统计：**卡片列出各级例程数量，初学从接口与基础开始。
- **联系理论：**读完Readme.pdf，再回到对应章节解释现象。

图：例程广场的章节学习地图

每个实验都有课程位置，学习可以在理论章节与运行现象之间往返。

1.7.2 统一入口与配套资源：章节与实验目录

教材章节怎样对应到例程目录

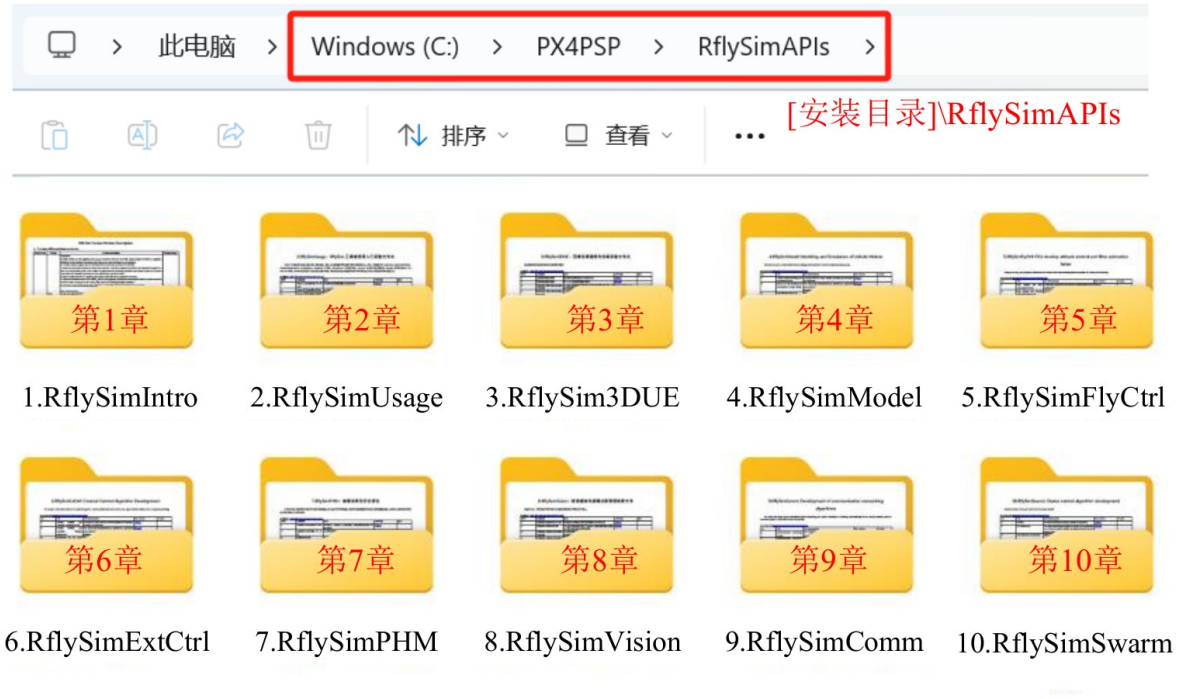


图1.24 章节与例程对应关系

- **例程目录：**[安装目录]\RflySimAPIs，安装目录默认为C盘PX4PSP。
- **章节定位：**十个编号目录对应教材十章，先定主题，再找实验。
- **入口互通：**例程广场可检索，本地目录保存文档、源码与模型。
- **进入例程：**运行前先读说明，确认依赖、启动方式和预期现象。

章节定位知识，目录定位文件，例程说明把知识连接到一次可复现的实验。

1.7.2 统一入口与配套资源：基础与控制例程

第1～5章：准备平台、模型与底层控制



图1.24（上排）第1～5章的例程目录

- **平台与模型：**第1～4章建立运行环境、三维场景和载具运动模型。
- **控制起点：**第5章在模型上学习状态估计和底层反馈控制。

先获得能运行的环境与模型，再用例程理解状态估计和反馈控制。

1.7.2 统一入口与配套资源：任务与集群例程

第6～10章：扩展任务能力与多机协同



图1.24（下排）第6～10章的例程目录

- **单机扩展：**第6～7章研究轨迹执行、健康管理与安全评估。
- **任务组合：**第8～10章连接感知决策、通信组网和集群协同。

复杂任务需要组合运动控制、感知与通信，章节目录帮助定位各环节的例程。

1.7.2 统一入口与配套资源：例程目录结构

每章例程目录：三类目录与四份文档

1.RflySimIntro（基础目录共通）

0.ApiExps	接口学习实验
1.BasicExps	资料与基础实验
2.AdvExps	进阶开发实验
Intro.pdf	本章入门学习
Index.pdf	本章例程索引
API.pdf	本章接口学习
PPT.pdf	本章教学课件

表1.2 例程文件夹内部结构

- **接口学习：** 0.ApiExps按工具或接口分组，提供入门资料与最小例程。
- **基础使用：** 1.BasicExps含入门资料与基础实验，用于理解原理、跑通标准流程。
- **进阶开发：** 2.AdvExps需多模块联合，或更多软硬件条件，具备基础后再学。

各章共享三类基础目录，扩展项依版本而异；先读Intro.pdf定路线。

1.7.2 统一入口与配套资源：选择例程

任务、基础和依赖共同决定例程起点

选择维度	判断内容	起点示例
任务目标	希望观察或改变什么行为	图像获取、速度控制、目标跟踪
已有基础	先看已有基础，按需选起点	0.ApiExps → 1.BasicExps → 2.AdvExps
开发方式	当前例程使用的语言或模型工具	Python代码或Simulink模型
运行条件	所需软件、模型、模式与设备	按例程说明确认依赖和预期结果

一个合适的起点同时满足目标明确、基础够用和运行条件可达。

1.7.2 统一入口与配套资源：资料分工

说明文档、接口手册与源码相互补充

资源	回答的问题	适合阅读的时机
Intro.pdf / PPT.pdf	本章学什么，依据什么原理	开始章节与解释现象时
例程广场 / Index.pdf	有哪些相关实验，入口在哪里	选择实验时
例程Readme.pdf	依赖、启动顺序和预期结果	首次运行该例程前
API.pdf / 接口手册	输入输出、单位和调用约定	读代码与修改接口时
源码 / 模型	数据和算法怎样组成运行流程	复现以后逐段理解

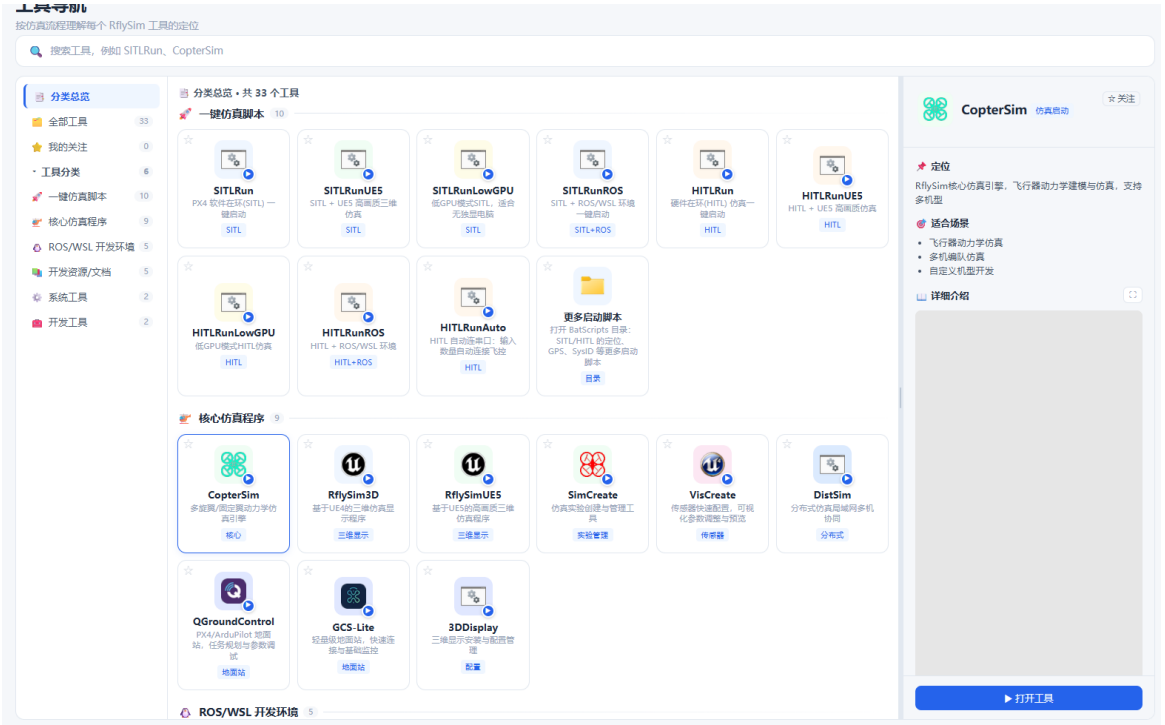
1.7 学习路线与实验案例

1.7.2 统一入口与配套资源：首页与工具

首页回到实验，工具导航进入开发环境



图：首页的搜索与四个快速仿真入口



图：工具导航按仿真流程分类工具

首页缩短重复运行的路径，工具导航支持围绕任务组合开发工具。

本章目录

课程、平台与例程的学习路线

第一章　绪论
1.1　概念分类与应用
1.2　发展历程与趋势
1.3　组成与架构
1.4　坐标系与控制原理
1.5　装配与调试
1.6　RflySim工具链
1.7　学习路线与实验案例
1.8　习题与课堂讨论

本节 5 个教学单元

1.7.1 目的和结构
1.7.2 统一入口与配套资源
1.7.3 实验方法与例程复现
1.7.4 二次开发与智能辅助
1.7.5 科研拓展与个性路线

1.7.3 实验方法与例程复现：复现方法

一次例程学习：先定目标，再复现、解释与改动

明确目标
目标与预期现象

➡

默认复现
保留原始运行结果

➡

沿数据流读码
输入、处理与输出

➡

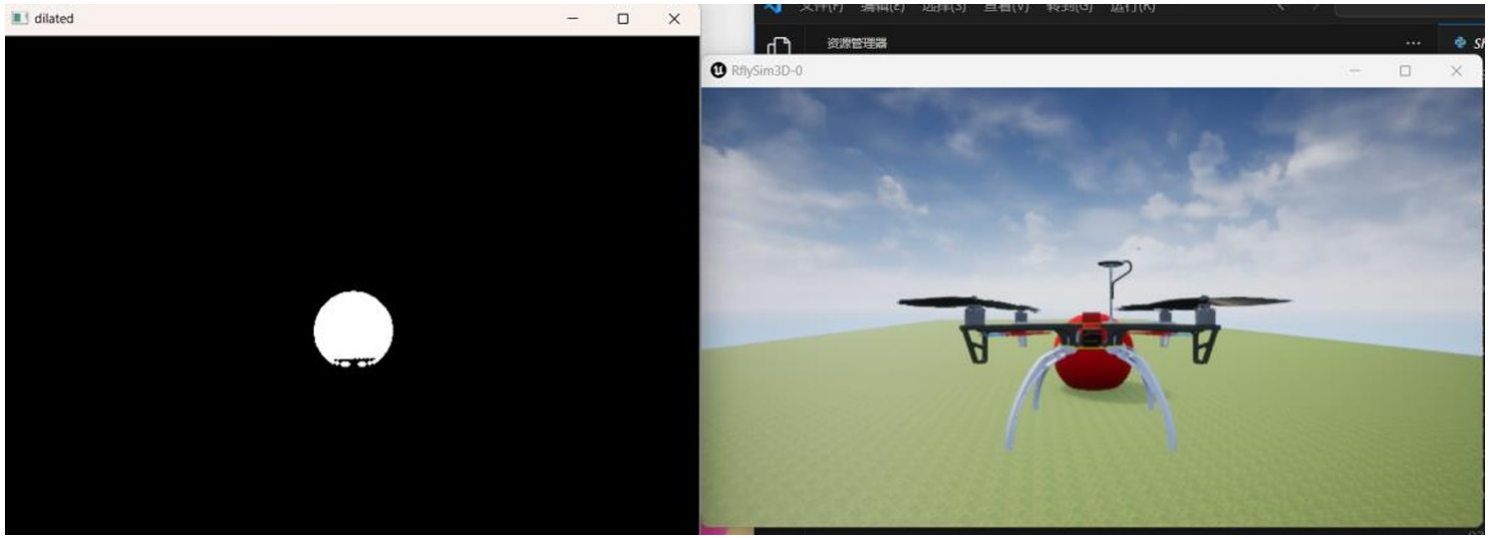
单点改动
写预期，再做比较

- **复现记录：**保存例程名称、环境版本、关键配置和运行现象。
- **解释过程：**把界面中的变化对应到数据、算法和控制输出。
- **结果比较：**在相同任务条件下比较改动前后，再决定下一步。

复现建立基准，解释连接原理，受控改动形成对方法的理解。

1.7.3 实验方法与例程复现：视觉跟踪案例

红球跟踪把图像变化连接到载具运动



- **寻找目标：**未见红球时原地顺时针转动搜索。
- **调整方向：**球偏左右则转向，偏上下则升降。
- **接近目标：**红球面积占比达阈值后停止前进。

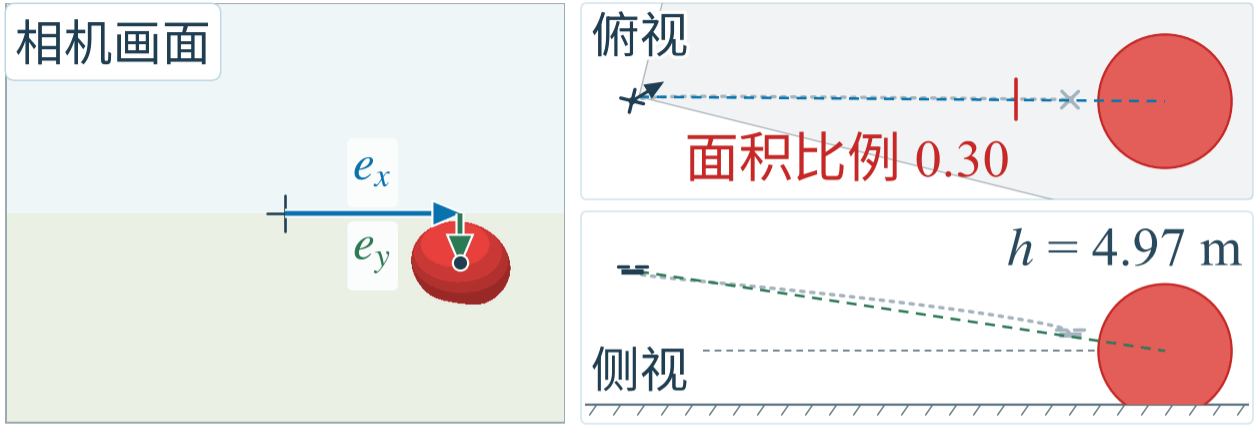
图：左图白色为程序识别出的红色区域，右为三维仿真场景

跟踪行为由视觉观测与控制反馈共同形成，可以沿信号逐步解释。

1.7.3 实验方法与例程复现：红球跟踪闭环

图像反馈使载具对准红球并逐渐停住

●●○ 识别到红球：对准并前进



$e_x = +200$ px → $\dot{\psi} = 0.00375\, e_x = +0.75$ rad/s

$e_y = +56$ px → $v_z = 0.004\, e_y = +0.22$ m/s

面积比例 $0.030 < 0.30$ → $v_x = 0.55$ m/s（期望 2）

图：红球跟踪闭环（离线数值仿真）

- **搜索目标：** 未见红球时，原地转动，直到识别到目标。
- **对准红球：** 左右偏则转向，竖直偏差驱动升降；同时向前接近目标。
- **面积停止：** 比例达0.30时，期望前速置零；指令渐减，载具因响应滞后逐渐停住。

速度指令归零不等于立即停住；停点受指令变化率限制和载具响应影响。

1.7.3 实验方法与例程复现：默认复现

安装平台后，按Readme.pdf跑通红球跟踪

入口：[安装目录]\RflySimAPIs\1.RflySimIntro\1.BasicExps\e7_RunPythonProject

1. 启动仿真	双击ShootBall3SITL.bat，开启软件在环仿真
2. 设置路径	运行RflySimAPIs\RflySimSDK中的ReLabPath.py
3. 运行程序	双击Python38Run.bat，输入python ShootBall3.py
4. 结束仿真	在ShootBall3SITL.bat的命令行窗口按回车，关闭全部程序

- **预期现象：**约5 s起飞，15 s飞向左后方，25 s开始视觉跟踪，最后停在红球前。
- **运行受阻：**先查Readme.pdf常见问题，如红球未生成或取图失败。

- 复现记录：
保存默认参数与版本，
记录运行现象，
供后续解释与改动比较。

1.7.3 实验方法与例程复现：输入与反馈

图像误差怎样变成运动指令

相机图像 → **目标特征** → **控制计算** → **运动执行**

原始彩色图像 → 中心位置、面积 → 速度与偏航率 → 自驾仪与载具

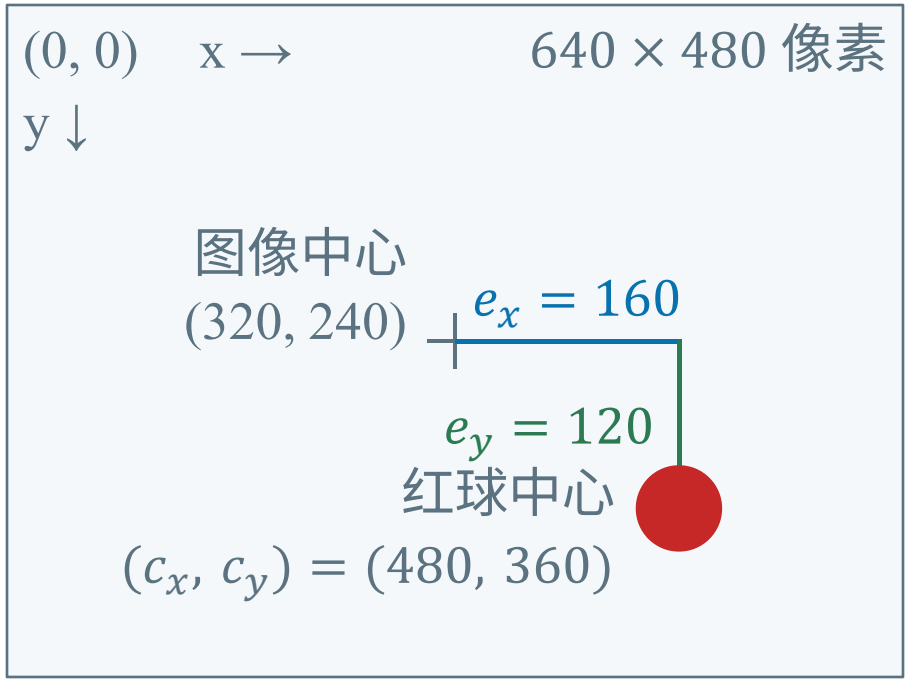
载具运动改变下一次相机观测

现象与变量	代码中的关系
目标偏离图像中心	水平偏差控制偏航角速度 竖直偏差控制升降速度
目标区域逐渐变大	面积比例达到阈值后，期望前向速度置零
目标未被有效识别	进入搜索转向；无图像数据时输出零指令

检测提取图像特征，控制器把误差转换为运动，再获得新的图像。

1.7.3 实验方法与例程复现：一步计算

用一帧图像算出一组速度指令



图：一帧图像中的像素偏差

- **图像偏差：** $e_x = c_x - 320$，$e_y = c_y - 240$，单位为像素，原点在左上角，y轴向下。
- **控制律：** $\dot{\psi} = 0.00375\, e_x$，$v_z = 0.004\, e_y$，红色面积占比 < 0.3时$v_x = 2$ m/s，否则为0。
- **方向：** 机体前-右-下系中，$\dot{\psi}$为偏航角速度，正为右转；v_z、v_x为向下、前进速度。
- **算例：** $(480, 360) \rightarrow e_x = 160$，$e_y = 120 \rightarrow \dot{\psi} = 0.6$ rad/s右转，$v_z = 0.48$ m/s下降。

像素偏差乘以增益得到速度指令，每秒30次重复使红球逐渐回到画面中心。

1.7.3 实验方法与例程复现：受控改动

用一个参数检验对跟踪算法的理解

比较要素	实验安排
固定条件	同一场景、红球位置、相机配置和起始状态
只改一个量	面积比例阈值 max_prop：0.30改为0.15
预期现象	前进指令更早归零，归零距离约增至1.3～1.4倍，而非2倍
比较与解释	面积约与距离平方成反比；比较归零距离与最终停止位置

固定任务条件、只改一个参数，才能把结果变化联系到具体原因。

1.7.3 实验方法与例程复现：按需补学

第一章资源怎样对应当前知识缺口

入口：例程广场 → 第1章（1.RflySimIntro）

资源分组	学习内容与选择时机
0.ApiExps **工具与接口教程**	补充编程、建模、系统与硬件知识， 用到相关工具时查阅。
1.BasicExps **基础资料与入门实践**	联系系列教材理解原理，并用编程、 系统操作和装配教程建立基础。
2.AdvExps **环境与专题实践**	按任务准备硬件和开发环境，再学习 网口配置、日志分析与智能辅助。

表内分组可跳转至文末选学索引；主线继续进入二次开发。

第一章资源支持不同知识缺口，可围绕任务组合选学。

本章目录

课程、平台与例程的学习路线

第一章　绪论
1.1　概念分类与应用
1.2　发展历程与趋势
1.3　组成与架构
1.4　坐标系与控制原理
1.5　装配与调试
1.6　RflySim工具链
1.7　学习路线与实验案例
1.8　习题与课堂讨论

本节 5 个教学单元

1.7.1 目的和结构
1.7.2 统一入口与配套资源
1.7.3 实验方法与例程复现
1.7.4 二次开发与智能辅助
1.7.5 科研拓展与个性路线

1.7.4 二次开发与智能辅助：接口与工具包

二次开发连接算法与平台能力



图：二次开发中的SDK参考手册

- **应用程序接口（API）：** 程序调用平台功能的约定，如SendVelFRD发送速度指令。
- **软件开发工具包（SDK）：** 按功能组织接口，红球例程用到ctrl、vision、ue三类模块。
- **学习重点：** 输入输出、单位、坐标系与更新方式。

接口说明数据与调用约定，开发工具包帮助算法接入完整实验。

1.7.4 二次开发与智能辅助：扩展位置

在已有例程中替换一个算法环节

保留基准	替换模块	对齐接口	增加条件
原始例程可运行	检测、规划或控制	数据、单位与频率	运动、背景与扰动

- **感知扩展：**在相同输入图像上替换检测方法，比较识别现象。
- **控制扩展：**保留观测接口，改变误差到运动指令的计算关系。
- **验证递进：**先完成软件在环，再按任务进入半实物和实机验证。

保留可运行的输入输出关系，再逐步替换或扩展算法。

1.7.4 二次开发与智能辅助：智能助手

智能助手支持问知识、找资源和给方案



图：智能助手推荐多机例程（3.CustExps仅限完整版及以上，基础版没有也不影响本课实验）

问知识

解释概念、接口与代码

找资源

定位章节、例程与手册

给方案

分解任务与实验思路

把问题落到具体任务与资源，智能助手才能更有效地支持学习。

1.7.4 二次开发与智能辅助：提问与检验

具体问题能够形成可执行的下一步

提问示例

“e7_RunPythonProject中，机载相机已看到红球，但飞机持续转向。
怎样判断是在搜索目标，还是在修正水平偏差？”

补充上下文

例程、环境、现象
相关代码与错误信息

➡

索取依据

对应文档或代码分支
下一步观察什么

➡

运行核对

检测是否有效
水平偏差是否非零

提供目标、入口和现象，让回答连接到可核对的代码与实验。

本章目录

课程、平台与例程的学习路线

第一章　绪论
1.1　概念分类与应用
1.2　发展历程与趋势
1.3　组成与架构
1.4　坐标系与控制原理
1.5　装配与调试
1.6　RflySim工具链
1.7　学习路线与实验案例
1.8　习题与课堂讨论

本节 5 个教学单元

1.7.1 目的和结构
1.7.2 统一入口与配套资源
1.7.3 实验方法与例程复现
1.7.4 二次开发与智能辅助
1.7.5 科研拓展与个性路线

1.7 学习路线与实验案例

1.7.5 科研拓展与个性路线：论文与源码

论文科研入口连接方法与可运行实现



图：论文、方法说明与开源项目

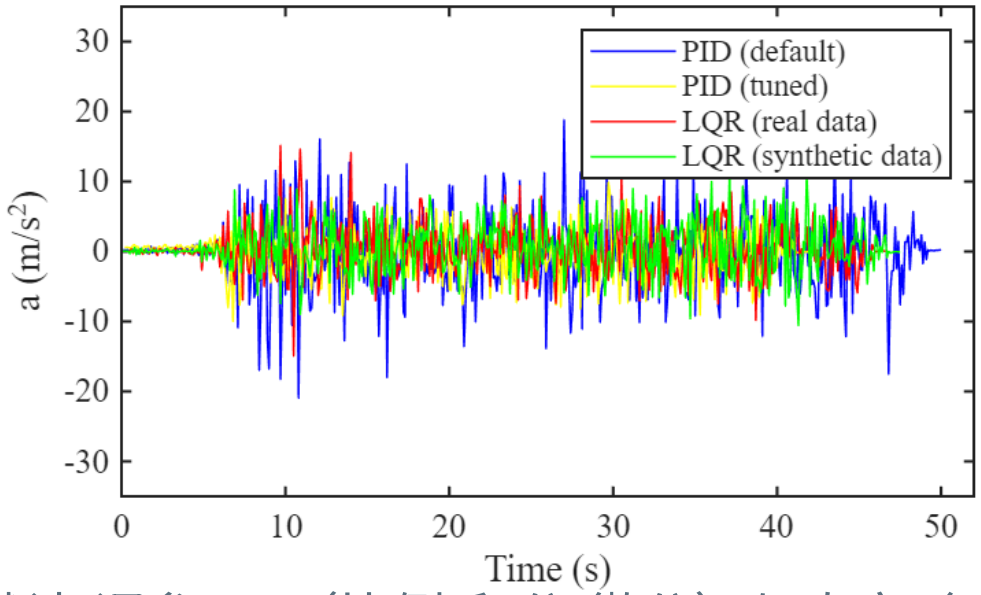
- **寻找问题：**按关键词、方法或工具选择研究方向。
- **连接实现：**对照论文、Readme.pdf和源码组织实验。
- **积累证据：**记录版本、条件、结果与差异。

围绕一个研究问题阅读论文，再用源码和实验理解方法的实现条件。

1.7.5 科研拓展与个性路线：科研案例

数字孪生案例：从已有数据开始复现

论文科研 → 2.UAV-DT-Control-Sim2Real → 3_Sim2RealCompare/compare_acceleration.m



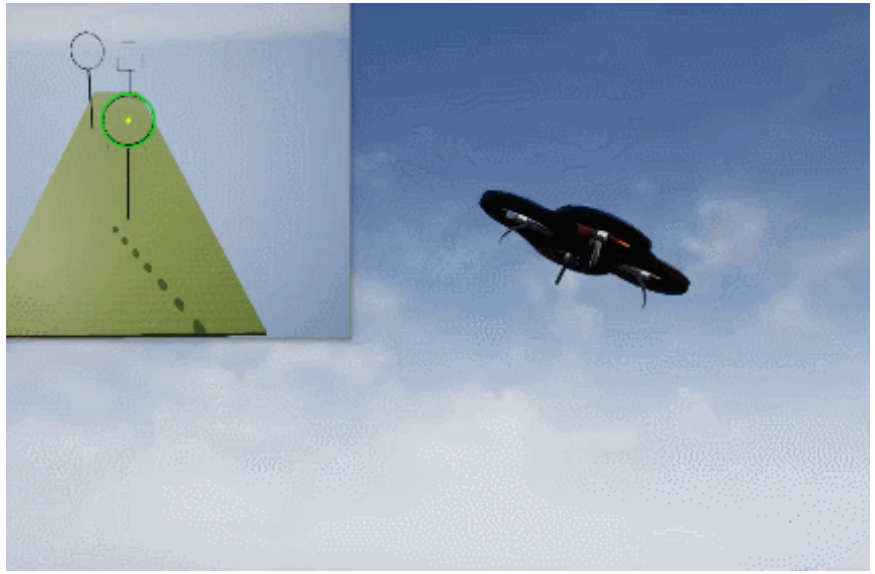
图：默认/调参PID（比例-积分-微分）与真实/合成数据LQR（线性二次型调节器）的x向加速度

- **研究问题：**数字孪生（逼近真机动态的仿真模型）的数据能否代替真机数据，用于设计控制器。
- **配套数据：**先用已有记录重画曲线，核对时窗和符号处理。
- **结果解释：**比较加速度波动，还要结合位置跟踪误差。

科研复现沿着问题、模型、算法和证据逐层理解。

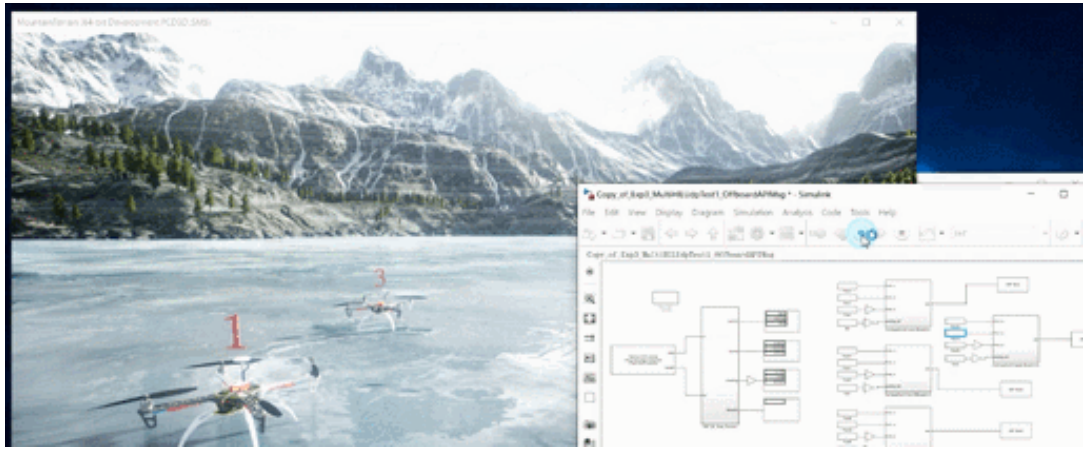
1.7.5 科研拓展与个性路线：进阶任务

视觉穿环与多机仿真的进阶学习



图：视觉穿环（历史演示）

主要关联：第6、8章



图：多机任务控制（历史演示）

主要关联：第9、10章

单机任务连接感知与控制，多机接口为协同研究提供实验基础。

1.7.5 科研拓展与个性路线：个人计划

用任务、例程和产出安排一次学习

计划要素	视觉跟踪方向的示例
学习任务	理解图像中的目标如何影响载具运动
例程起点	第一章e7_RunPythonProject，结合第6、8章
所需基础	运行环境、Python、图像坐标和控制接口
阶段产出	原始运行记录、信号关系图、单参数对比
下一步扩展	从检测方法或控制规则中选择一个环节继续研究

把学习计划落实为一个任务、一份运行基准和一次有解释的改动。

课堂讨论

用一个例程检验学习路线是否清楚

- **资源选择：**视觉跟踪从哪找例程？查哪些章节和文档？

参考：第1章e7；按需查第6、8章及Intro.pdf、Readme.pdf。

- **数据关系：**跟踪的输入、处理、输出与反馈是什么？

参考：图像→红色区域与偏差→速度指令→运动→新图像。

- **受控比较：**改哪个因素？哪些条件不变？用什么现象解释差异？

参考：改面积阈值；固定场景、起点和相机；比归零点与停点。

能解释资源选择、数据关系与实验比较，才有明确的下一步。

本章实验案例：接口学习实验·编程与建模

工具教程：补齐编程、建模与开发基础

返回选学导览

1.RflySimIntro / 0.ApiExps

目录 / 资源	学习内容
1.RflySim_SupportBook	按教材主题查找配套资料与学习入口。
2.PX4&Pixhawk_Tutorials	理解自驾仪硬件、固件与工具链关系。
3.Python_Tutorials	学习脚本语法，准备数据与控制编程。
4.MATLAB&Simulink_Tutorials	练习计算与框图建模，需另备软件。
5.MicrosoftVisualStudio_Tutorials	认识项目组织、编译与调试工具。

工具教程围绕当前任务补学，再回到例程检验理解。

本章实验案例：接口学习实验·系统与资源

工具教程：按需补充场景、系统与硬件

返回选学导览

1.RflySimIntro / 0.ApiExps

目录 / 资源	学习内容
6.3DsMax&Unreal-Engine_Tutorials	认识模型与场景开发，工具需另备。
7.Linux_Tutorials	学习文件、进程与命令行等系统基础。
8.ROS_Tutorials	认识机器人操作系统（ROS 1）通信。
9.HardwareSys_Introduction	联系硬件组成，理解接口与连接关系。
10.PDF_File_Processing	用Python汇总PDF，生成带书签文档。

场景、系统和硬件知识，随当前开发任务逐步补齐。

本章实验案例：基础使用实验·原理与控制

基础资料：围绕载具与控制问题读教材

返回选学导览

1.RflySimIntro / 1.BasicExps（教材导读；完整教材与外部材料另取）

目录 / 资源	学习内容
e1_MulticopterTheory	建立动力学、状态估计与控制基础。
e2_MulticopterPractice	了解动力设计到失效保护的实践路线。
e3_MulticopterDesighFly	联系飞行原理、组装调试与维护。
e4_MulticopterRemoteCtrl	理解远程控制链路，衔接第6章实践。
e5_SmallAircraftCtrlPractice	了解固定翼设计、控制与规划路线。

先理解任务所需的运动与控制原理，再联系相应实践。

本章实验案例：基础使用实验·编程与装调

基础实践：建立编程、系统与装调能力

返回选学导览

1.RflySimIntro / 1.BasicExps

目录 / 资源	学习内容
e6_OverviewPython	熟悉编辑环境与语法，练习修改参数。
e7_RunPythonProject	运行红球跟踪，理解视觉与控制闭环。
e8_IntroductionLinux	认识Linux系统、发行版与文件组织。
e9_LinuxCommandLine	练习路径与命令，用例程检查环境。
e10.DroneAssTutorial	备齐器材后学习装调，结合1.5节。

编程与系统基础帮助运行例程，装调实践联系真实载具。

本章实验案例：进阶开发实验·硬件选择

硬件导览：明确操控、计算与载具条件

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps

目录 / 资源	学习内容
e1.RCIntro	认识遥控通道、协议与校准， 对应操纵输入和载具响应。
e2.FCUIntro	认识自驾仪硬件、固件与连接， 为硬件在环实验准备条件。
e4.ComputerIntro	按场景、视觉和多机任务， 理解运行电脑的配置需求。
e5.UAVConnfig	以MiniQuad150配置资料为例， 联系实物载具、固件与仿真。

根据任务选择操控设备、运行电脑与载具配置。

本章实验案例：进阶开发实验·开发环境

按例程需求配置解释器、编译器与WSL

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps

目录 / 资源	学习内容
e3.PythonConfig	配置解释器与依赖， 用Python示例检查运行环境。
e6.VisualStudioInstall	准备C++编译组件， 为代码编译与模型开发提供环境。
e7.WslGUI	在Windows的Linux子系统（WSL）中 运行图形与通信示例。
e8.WslVsCode	用VS Code连接WSL， 准备程序编辑、运行与调试。

环境是否就绪，要用对应程序的实际运行结果判断。

本章实验案例：进阶开发实验·计算与通信

比较计算耗时与图像传输延迟

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps
图形处理器（GPU）条目：Windows 11 22H2及以上、NVIDIA显卡与驱动。

目录 / 资源	学习内容
e11.WSL2_GPUAccConfig	比较通用处理器与GPU的计算耗时。 需平台v4.10及以上与计算依赖。
e12.ROS2SharedMem	比较图像传输延迟、帧率与计算占用。 需WSL 2、ROS 2与图形环境。
e13.WinWSL2-GPU	部署独立GPU环境并验证计算。 需另取增量镜像，按说明准备系统。

计算加速与通信优化，要用耗时、帧率等指标检验效果。

本章实验案例：进阶开发实验·智能辅助

智能工具：从检索资料到自然语言控制

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps

目录 / 资源	学习内容
e14.LocalLLMDepUse	用本地Ollama模型解析自然语言， 向仿真发送起飞、降落等动作指令。 需GPU环境、模型与Python依赖； MATLAB/Simulink R2022b及以上另备。
e15.RflySim_Skills	用配套技能检索例程、定位开发接口， 辅助理解飞控源码与仿真场景。 需支持技能的AI宿主和Python； 安装方式随所用宿主确定。

让智能工具服务具体任务，并用文档与实验核对结果。

本章实验案例：进阶开发实验·网口配置

网口专题：从单飞控连通扩展到多机

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps / e9.ConfigTools

目录 / 资源	学习内容
e1.FCUETH_NetConfig	使用带网口飞控与网络设备， 配置并验证单机硬件在环通信。
e2.FeisiSwarmBox_Config	需完整版及专用集群仿真单元， 批量配置多台飞控网络。
e3.FCUETH_ModifyParam	在已联网飞控上修改机架参数， 检查机型配置与仿真的对应关系。

先验证单飞控连接，再按设备条件扩展到多机配置。

本章实验案例：进阶开发实验·获取与采集

日志学习先从获取可分析的数据开始

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps / e10.Log-GetAnalysis

目录 / 资源	学习内容
1.LogGet	QGC下载飞控日志（ULog）供离线复查； 需已记录日志的飞控。
9.SwarmLogGet	运行多机软件在环， 分别获取各载具的ULog记录。
10.UAVsStatusRTGet_Py	用Python读取并打印状态与真值， 为自定义记录提供数据入口。
11.UAVsStatusRTGet_Mat	Simulink采集双机状态并写入工作区； 需R2022b及以上，实物接入另备双飞控。

离线日志支持事后复查，实时采集支持自定义观察与记录。

本章实验案例：进阶开发实验·离线分析

根据分析问题选择日志工具

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps / e10.Log-GetAnalysis

目录 / 资源	学习内容
2.LogAnalysis_Wed	Flight Review浏览状态（需联网）。
3.LogAnalysis_CMD	用pyulog转换、筛选日志消息。
4.LogAnalysis_Mat	MATLAB对比曲线（需R2022b及以上）。
5.LogAnalysis_Py	用Python解析并绘制姿态曲线。
6.LogAnalysis_PlotJuggler	交互查看曲线；需另备PlotJuggler。

本章实验案例：进阶开发实验·自定义记录

把新增数据与控制变量留在实验记录中

返回选学导览

1.RflySimIntro / 2.AdvExps / e10.Log-GetAnalysis
前两项需MATLAB/Simulink、PX4代码生成环境、飞控与遥控套件。

目录 / 资源	学习内容
8.CusmsgSDLog	生成固件、记录并读取自定义数据； 需SD卡存储记录。
12.CusuORBmsgLog	记录控制器的自定义消息变量， 需要编译、上传与硬件在环验证。
7.CopterSimLogging **跨章跳转入口**	前往2.RflySimUsage / 1.BasicExps / e13_Log-Get，学习CopterSim真值记录。

为新增算法保留可解释的数据，才能复查与比较运行结果。

本节小结

学习路线在知识、工具和实验之间往返

- **课程地图：**四个篇章、十章内容帮助定位任务所需知识。
- **统一入口：**首页、工具、例程、开发、助手和科研资源各有用途。
- **实验方法：**默认复现后沿数据流读代码，用单点改动比较结果。
- **持续深入：**按专业方向补学知识，逐步连接二次开发与论文科研。
- **常见误区：**目录编号不是必修顺序；面积占比不是标定距离；助手回答须回到Readme.pdf与源码核对。

以问题确定路线，以例程建立基准，以解释和改动形成能力。